

УДК 621.757:62-752

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТЕЙ КОНТАКТА

© 2013 Г.А. Родимов, О.М. Батищева, В.А. Папшев

Самарский государственный технический университет

Поступила в редакцию 21.03.2013

В статье обсуждаются результаты экспериментальных исследований влияния ультразвуковых колебаний на изменение механических характеристик поверхностей контакта.

Ключевые слова: контактное взаимодействие, механические характеристики, ультразвуковые колебания

Работами отечественных и зарубежных ученых установлено влияние ультразвука на механические свойства различных материалов при растяжении, сжатии, изгибе, кручении и других видах нагружения. Как показывает анализ результатов исследований, независимо от состава и исходных механических свойств материалов общей закономерностью ультразвукового воздействия при испытаниях является значительное снижение усилий деформирования, необходимых для получения эквивалентных деформаций [1-4]. На рис. 1 и 2 приведены полученные авторами экспериментальные диаграммы сжатия образцов (сплав Д16 и сталь 45) при обычном нагружении и с одновременным воздействием ультразвуковых колебаний с амплитудой, изменяющейся от 4 мкм до значений, соответствующих работе системы в резонансном режиме. Расширение исследуемого диапазона параметров ультразвуковых колебаний позволило установить, что деформация образца с его разрушением наступает при амплитуде $\xi=16$ мкм, когда он нагружается в резонансном режиме, причем деформирование сплава осуществляется при очень незначительной статической нагрузке, а разрушение происходит с образованием трещины по плоскостям с углом наклона, близким к 45° .

Максимальная степень деформации образцов из стали 45 в резонансном режиме наступает

при амплитуде 20 мкм при напряжениях в 4 раза меньших по сравнению с обычным нагружением.

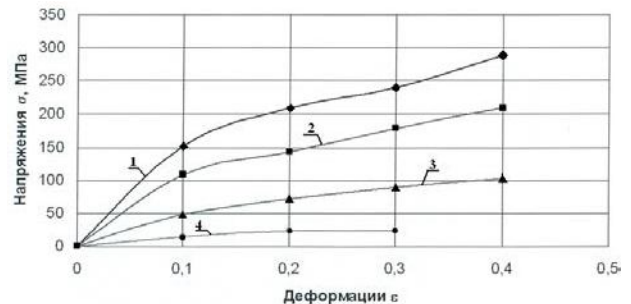


Рис. 1. Диаграмма сжатия сплава Д16:

1 - $\xi=0$; 2 - $\xi=4$ мкм; 3 - $\xi=10$ мкм; 4 - $\xi=16$ мкм

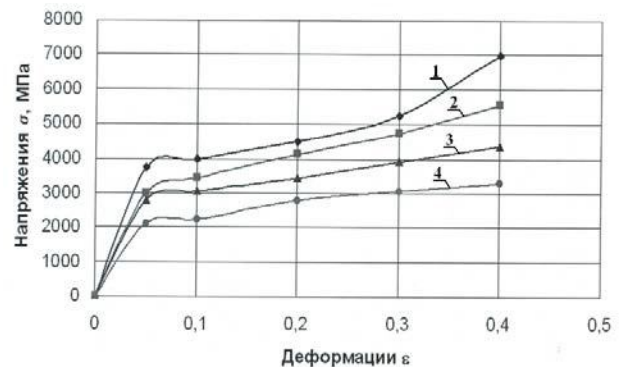


Рис. 2. Диаграмма сжатия стали 45:

1 - $\xi=0$; 2 - $\xi=4$ мкм; 3 - $\xi=10$ мкм; 4 - $\xi=20$ мкм

Анализ формы образцов показывает, что при малых значениях амплитуд ($\xi=4$ мкм; $\xi=10$ мкм) образцы деформируются и принимают бочкообразную форму. Кривизна образующей меньше, чем при обычном нагружении потому, что ультразвуковые колебания снижают трение между опорными плитами пресса и основаниями образца. Увеличение амплитуды приводит к уменьшению бочкообразности формы, что характерно для деформации материалов под действием значительной динамической нагрузки в

Родимов Геннадий Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация производств и управление транспортными системами». E-mail: rga@mail.ru

Батищева Оксана Михайловна, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Автоматизация производств и управление транспортными системами». E-mail: omb@list.ru

Папшев Валерий Александрович, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Автоматизация производств и управление транспортными системами» E-mail: pva_samara@mail.ru

условиях значительного снижения сил трения между поверхностями. Отмечено, что образцы из сплава Д16 деформируются с более равномерной бочкой, чем стальные, у которых интенсивное течение металла происходит, в основном, в зоне контактных поверхностей. Эти особенности деформирования материалов позволяют сделать вывод, что в диапазоне малых значений амплитуд определяющим фактором снижения сопротивления пластической деформации является воздействие ультразвука на дислокационную структуру металлов, а в диапазоне больших значений амплитуд – ведущую роль играет возрастание динамической импульсной силы, действующей на образец. Разные резонансные характеристики ультразвуковой колебательной системы, определяющие максимальное деформирование при нагружении образцов из сплава Д16 и стали 45, позволяют подтвердить вывод, сделанный в работе [3], что не только размеры, но и физико-механические свойства материала определяют эти значения.

Исследованиями на растяжение образцов в ультразвуковом поле установлены предельные значения деформаций, при которых наступает их разрушение, в зависимости от амплитуды ультразвуковых колебаний (рис. 3 и рис. 4). Для более точной характеристики свойств материала были построены диаграммы истинных напряжений, отражающие связь между напряжениями и деформациями в том сечении образца, где происходит разрыв. Для построения диаграммы истинных напряжений в эксперименте в разные моменты фиксировалась величина силы, растягивающей образец, и одновременно измерялись поперечные размеры образца в наиболее суженном месте. Ордината истинной диаграммы характеризует способность материала сопротивляться пластической деформации.

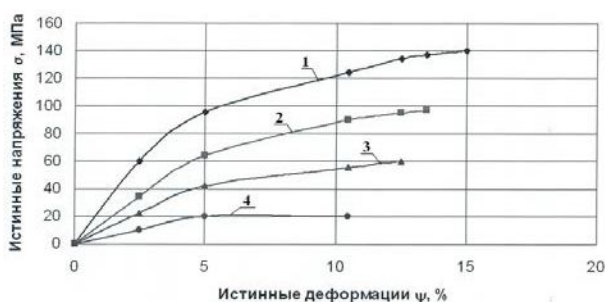


Рис. 3. Диаграмма истинных напряжений при растяжении сплава Д16:
1 – $\xi=0$; 2 – $\xi=4$ мкм; 3 – $\xi=10$ мкм; 4 – $\xi=18$ мкм

Анализ диаграмм, построенных в координатах «истинные напряжения-истинные деформации», показывает, что при растяжении с воздействием ультразвука разрушение образцов из сплава Д16 наступает при амплитуде $\xi=4$ мкм при деформации $\psi=13,5\%$; при амплитуде $\xi=10$ мкм при деформации $\psi=12,5\%$. Работа системы в резонансном режиме соответствует амплитуде

$\xi=18$ мкм, при котором образец разрушается при достижении деформации $\psi=10,5\%$. Величина напряжений в этом случае в 7,2 раза меньше, чем при обычном нагружении. Аналогичная картина наблюдается при растяжении в ультразвуковом поле стали 45.

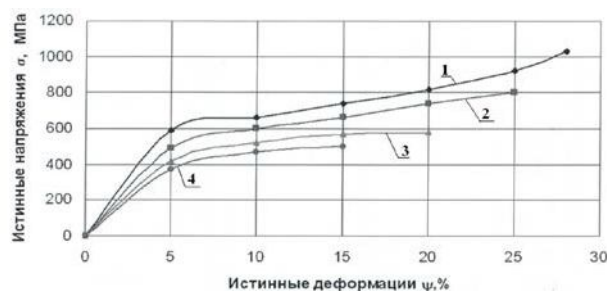


Рис. 4. Диаграмма истинных напряжений при растяжении стали 45:
1 – $\xi=0$; 2 – $\xi=4$ мкм; 3 – $\xi=10$ мкм; 4 – $\xi=23$ мкм

Анализ индикаторных диаграмм «сила деформирования-относительная деформация» позволил оценить влияние ультразвуковых колебаний в диапазоне до 20 мкм на условные пределы текучести σ_T^V рис. 5 для стали 40Х (закалка плюс отпуск при 600°) и рис. 6 для стали 45 (отжиг). Числовые значения σ_T^V аппроксимируются выражениями, структура которых предложена в работе [2]:

$$\sigma_T^V = \sigma_T^C - m\xi$$

где m – коэффициент, зависящий от материалов образцов и условий нагружения; для стали 40Х значение коэффициента $m=0,8$; для стали 45 значение коэффициента $m=9,5$.

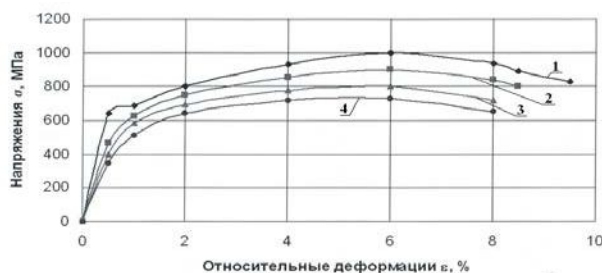


Рис. 5. Диаграмма растяжения стали 40Х (закалка + отжиг):
1 – $\xi=0$; 2 – $\xi=4$ мкм; 3 – $\xi=10$ мкм; 4 – $\xi=20$ мкм

Применение указанной зависимости показало удовлетворительную сходимость с экспериментами для ультразвукового нагружения образцов в диапазоне амплитуд от 5 мкм до 20 мкм. При увеличении амплитуды, а, особенно, нагружение при работе системы в резонансном режиме, пропорциональная зависимость между снижением сопротивления пластической деформации и амплитудой ультразвуковых колебаний нарушается, что свидетельствует о сложных физических явлениях, сопровождающих этот процесс.

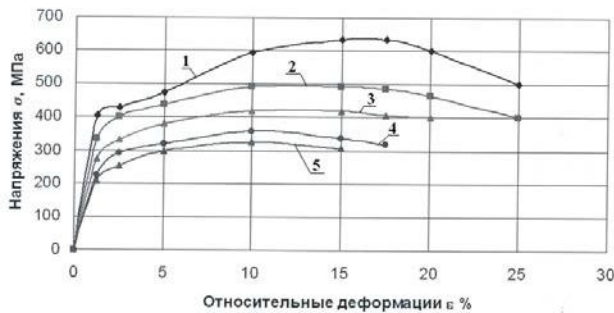


Рис. 6. Диаграмма растяжения стали 45 (отжиг): 1 – $\xi=0$; 2 – $\xi=4$ мкм; 3 – $\xi=10$ мкм; 4 – $\xi=20$ мкм

Сравнительный анализ результатов путем интегрирования кривых деформаций в координатах «истинные напряжения-истинные деформации» показывает, что при деформации в ультразвуковом поле в диапазоне амплитуд 4-10 мкм, работа деформации снижается в среднем при нагружении образцов из сплава Д16 в 1,8-3,0 раза, а стали 45 – на 25-52%. Вместе с тем, наряду с отмеченными особенностями деформирования материалов наложение ультразвука сопровождается изменением характера контактного взаимодействия поверхностей сопряжения и их трибологических показателей, поскольку снижением лишь σ_T нельзя объяснить столь значительного снижения тангенциальной составляющей силы T . Для определения влияния ультразвука на механические характеристики закаленной стали ШХ15СГ (HRC 62-64) были проведены измерения твердости, характеризующей сопротивление пластическим деформациям в условиях сложного напряженного состояния. Опыты по внедрению сферических инденторов проводились с применением шаров диаметром 5 мм из стали ШХ15СГ твердостью HRC 68-70. Частота ультразвуковых колебаний, сообщавшихся образцам, $f=20$ кГц, амплитуда $\xi=(5-20)$ мкм, статическое усилие составляло $P=400$ Н, что соответствует контактным давлениям, характерным для прессовых соединений. Глубина отпечатков записывалась с помощью профилографа-профилометра. Поверхность образцов полировалась вручную до достижения $R_a=(0,08-$

$0,1)$ мкм. Время нагружения изменялось от 10 с до 10 мин.

Анализ результатов исследований показал, что отмеченные выше закономерности воздействия ультразвука на механические свойства материалов сохраняются и при испытаниях на твердость. На рис. 7 представлены графики изменения твердости. Время нагружения составляло 10 с. Из данных графиков следует, что с увеличением амплитуды ξ от 5 мкм до 20 мкм твердость стали ШХ15СГ снижается соответственно в 1,11 и 1,42 раза, стали 45 – в 1,17 и в 1,61 раза соответственно. Полученные данные качественно хорошо согласуются с исследованиями других авторов [2].

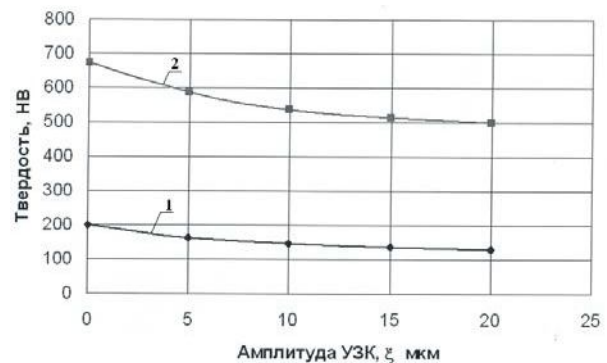


Рис. 7. Влияние амплитуды ультразвуковых колебаний на твердость сталей: 1 – сталь 45; 2 – сталь ШХ15СГ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Марков, А.И. Ультразвуковая обработка материалов. – М.: Машиностроение, 1980. 237 с.
2. Нерубай, М.С. Влияние ультразвуковых колебаний на механические свойства труднообрабатываемых материалов // *Металловедение и термическая обработка материалов*. 1987. № 4. С. 10-1.
3. Северденко, В.П. Ультразвук и пластичность / В.П. Северденко, В.В. Клубович, А.В. Степаненко. – Минск: Наука и техника, 1976. 440 с.
4. Северденко, В.П. Обработка металлов давлением с ультразвуком / В.П. Северденко, В.В. Клубович, А.В. Степаненко. – Минск: Наука и техника, 1973. 288 с.

INFLUENCE OF ULTRASONIC OSCILLATIONS ON CHANGE OF MECHANICAL PROPERTIES OF CONTACT SURFACES

© 2013 G.A. Rodimov, O.M. Batishchev, V.A. Papshev
Samara State Technical University

In article results of experimental researches of influence of ultrasonic oscillations on change the mechanical properties of contact surfaces are discussed.

Key words: contact interaction, mechanical properties, ultrasonic oscillations

Gennadiy Rodimov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department "Productions Automation and Transport Systems Management" E-mail: rga@mail.ru; Oksana Batishcheva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department "Productions Automation and Transport Systems Management". E-mail: omb@list.ru; Valetiy Papshev, Candidate of Biology, Associate Professor at the Department "Productions Automation and Transport Systems Management". E-mail: pva_samara@mail.ru